

Landemessungen an einer Fw 190 mit Anwendung der Luftschraube

als Bremse.

Von J. Stüper und B. Seeger.

Übersicht: An einer FW 190 wurde die Anwendung der Luftschraube als Bremse beim Landeauslauf erprobt und vermessen. Gegenüber der Landung ohne Bremsbetätigung konnte die Auslaufstrecke auf etwa ein Drittel bis ein Viertel verkürzt werden. Die Rollstabilität blieb auch bei freiem Sporn erhalten.

Der Bericht umfasst:

32 Seiten
2 Tabellen und
29 Bilder.

AERODYNAMISCHE VERSUCHSANSTALT GÖTTINGEN E.V.

Institut für Forschungsflugbetrieb und Flugwesen

Der Institutsleiter:

Die Bearbeiter:

gesehen:

Stüper

Seeger

Stüper

M. B. d.

Göttingen, den 24.11.1944

B 44/F/10

Einleitung und Aufgabenstellung.

In den letzten Jahren ist eine Reihe von Berichten erschienen, die das Problem behandeln, die Luftschraube ausser zur Vortriebserzeugung auch zum Bremsen heranzuziehen [1 bis 6]. Besonders groß ist der Wunsch nach einer wirksamen Bremse beim Landeauslauf von Flugzeugen mit hoher Flächenbelastung. Die Flächenbelastungen betragen heute etwa 200 bis 300 kg/m² und im Zuge der Entwicklung ist mit weiterem Anwachsen zu rechnen. Da die Mittel zur Erzielung von Höchstauftrieben für die Landung nicht Schritt halten, ist damit auch ein weiteres Ansteigen der Landegeschwindigkeit (jetzt etwa 170 bis 240 km/h) zu erwarten. Dadurch wird heute die Größe der Flugplätze durch die Möglichkeit der Landung vorgeschrieben, während ihr Ausmaß bisher durch die erforderliche Startlänge, insbesondere bei Start mit Überlast, bestimmt war.

Die Flugpraxis hat ergeben, dass die Anwendung der bekannten Radbremsen zur Verkürzung des Landeauslaufs nicht ausreicht. Die Mängel sind bekannt: hoher Gummiverschleiss, starke Erhitzung der Bremstrommeln und Räder, zu geringe Wirkung insbesondere bei glattem Boden, Überschlaggefahr bei Heckradflugzeugen usw. Hinzukommt neuerdings, dass der Wunsch des Flugzeugführers, schon beim Aufsetzen zu bremsen, unerfüllbar wird. Festigkeitsmäßig bereitet der Landestoß auf das ruhende Rad einige Sorge, und man hegt durchaus den Gedanken, die Räder im Anflug vor der Landung anzutreiben.

Die Verwendung von Bremsschirmen nach Art der Fallschirme hat zu recht guten Ergebnisse geführt. Ihr Nachteil ist einmal die hohe Abhängigkeit der Bremswirkung vom Staudruck, sie wird gegen Ende des Auslaufs immer kleiner. Der andere Nachteil ist ihre Unhandlichkeit, da nach jeder Bremslandung der Schirm erst wieder gelegt und gepackt werden muss.

Der Gedanke, die bei der Landung sowieso nicht ausgenutzte Leistung des Flugmotors über die geeignet verstellte Luftschraube zur Erzeugung von Bremsschub heranzuziehen, ist sehr naheliegend und einleuchtend. Wir haben bereits früher [1 und 6] an Hand von Windkanalmessungen und einigen wenigen Flugversuchen mitgeteilt, welche Verkürzungen der Rollstrecke man mit Hilfe der Luftschraubenbremse erzielen kann. Im Zuge der Weiterführung dieser Arbeiten erhielt die Flugstelle der A.V.A.

den Auftrag, auf einer FW 190 die Anwendung der Luftschraube als Landebremse zu erproben und zu vermessen. Es kam dabei darauf an, außer der Wirksamkeit der Luftschraubenbremse auch die beste Art der Handhabung, Zeitpunkt des Umschaltens und Gegengasgebens, das Verhalten des Flugzeugs bei Anflug, Landung und Rollen, Ausbrechneigung usw. zu bestimmen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen sich dann Richtlinien für die Anwendung in größerem Rahmen herleiten. Über die Ergebnisse unserer Versuche und Messungen wird im folgenden berichtet.

Der Versuchsträger.

Zur Verfügung stand ein einsitziges Jagdflugzeug, die FW 190 V 15, Bild 1. Die Maschine ist im Gegensatz zur normalen FW 190

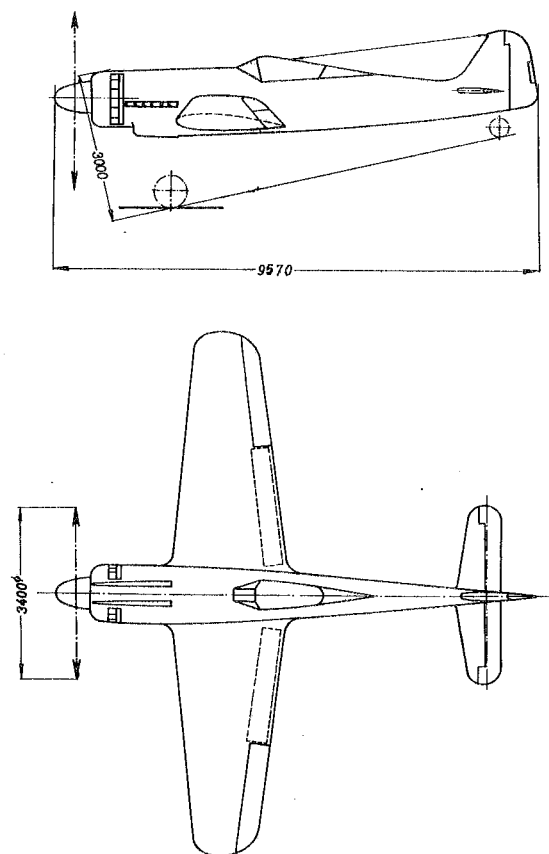


Bild 1. Übersichtszeichnung der FW 190 V 15.

mit flüssigkeitsgekühltem Motor ausgerüstet, dem DB 603 A. Die wichtigsten Zahlenangaben sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Meßgröße		Dimension	
Spannweite	b	m	10,38
Flügelfläche	F	m ²	18,3
Fluggewicht	G	kg	3900
Flächenbelastung	G/F	kg/m ²	213
Auftriebsbeiwert beim Landen	c _{aL}		1,5
Widerstandsbeiwert beim Landen	c _{wL}		0,3
Landestaudruck	q _L	kg/m ²	142
Landegeschwindigkeit	v _L	km/h	171
Luftschraubendurchmesser	D	m	3,4
Blattzahl	z		3
Dickenverhältnis bei 0,7R	d/l		0,064
Blattbreitenverhältnis bei 0,7R	$\frac{z}{D}$		0,267
Trägheitsmoment	J	kg m s ²	5,55
Drehzahl des Flugmotors	n	U/min	2700
bei Volleistung am Boden	N	PS	1750
Drehzahl der Luftschraube	n _L	U/min	1400
Untersetzung	n _L /n		1:1,93

Tabelle 1

Die Luftschraube ist eine dreiflügelige Ganzmetallschraube von VDM. Die Profilgestaltung zeigt Bild 2, den Blattdicken-,

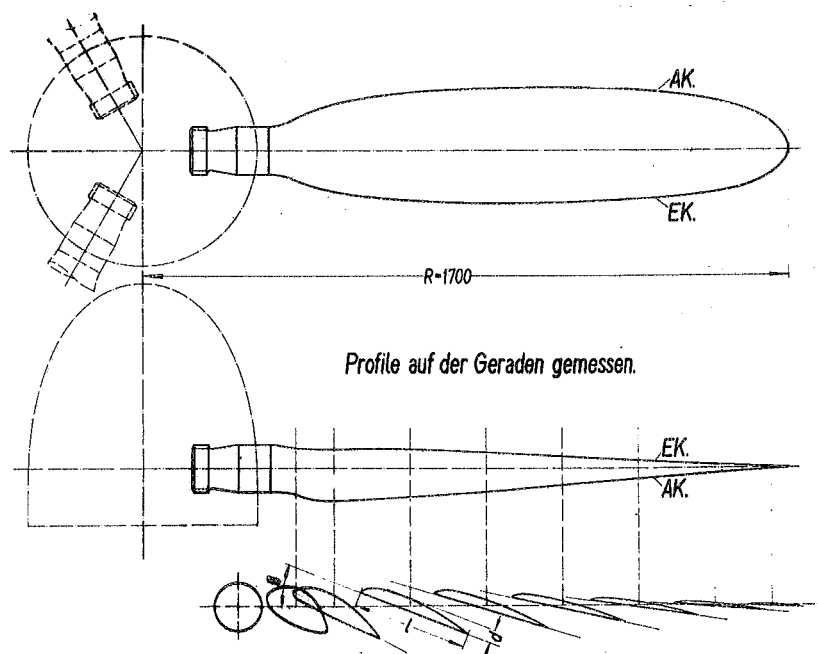


Bild 2. Die Luftschraube der FW 190 V 15.

-tiefen und -steigungsverlauf Bild 3. Der Blatteinstellwinkel für den Start beträgt $\beta = 34^\circ$, gemessen bei 0,7 R von der geraden Druckseite aus. Als günstigster Einstellwinkel

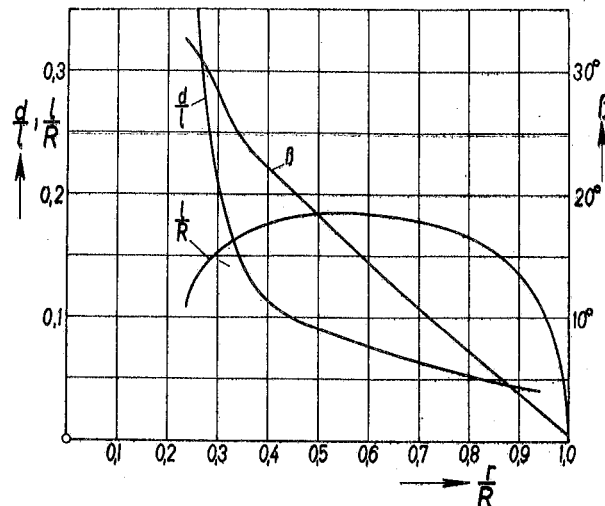


Bild 3. Blattdicken, -tiefen und -steigungs-
verlauf der Luftschraube.

Für die Bremsstellung erwies sich $\beta = -31^\circ$. Wenn man demnach im Gleitflug mit Startstellung der Luftschraube anschwebt, so müssten zum Umschalten auf Bremsen die Luftschraubenblätter um 65° verdreht werden.

Für den Ausrollvorgang, Geschwindigkeit zwischen 0 und etwa 170 km/h, sind die Betriebsverhältnisse für die FW 190 V 15 bei Vollgas des Flugmotors in Bild 4 wiedergegeben.

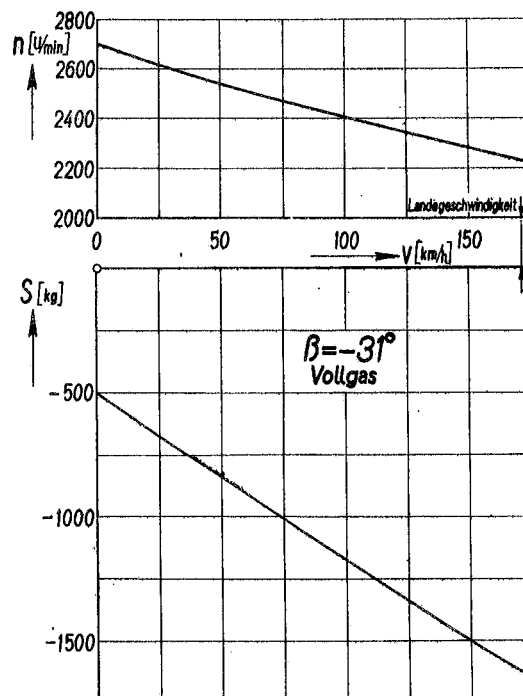


Bild 4. Drehzahl und Schub bei Vollgas in Ab-
hängigkeit von der Geschwindigkeit
mit umgefahrener Luftschraube bei der
FW 190 V 15.

Aufgetragen ist im oberen Teil über der Geschwindigkeit v der Verlauf der Motordrehzahlen. Erst am Stand wird die zulässige Höchstdrehzahl von $n = 2700$ U/Min erreicht. Im unteren Teil des Bildes ist der Verlauf des Bremsschubs dargestellt. Der Rückwärtsschub nimmt von etwa 1650 kg im Augenblick des Landens auf 500 kg am Stand ab. Zum Vergleich sei angegeben, dass der Standschub bei dieser Maschine etwa 1500 kg und der Schub bei Schnellflug mit Vollgas in Bodennähe etwa 500 kg beträgt.

Mit Hilfe von Formeln, die in einer früheren Arbeit mitgeteilt sind [6], kann man für die FW 190 V 15 die Ausrollstrecken bestimmen. Das Ergebnis solcher Rechnungen ist in Bild 5

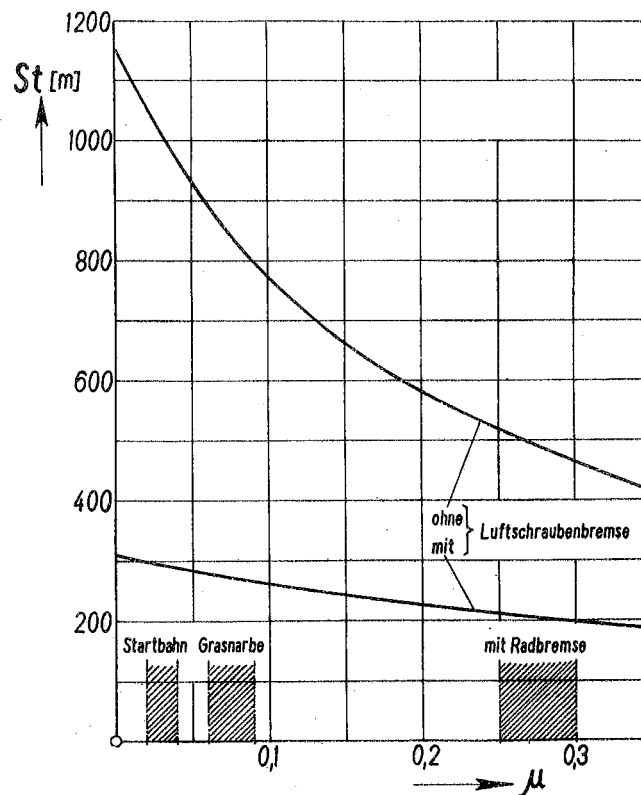


Bild 5. Ausrollstrecken der FW 190 V 15 (gerechnet).

dargestellt. In Abhängigkeit vom Reibungskoeffizienten μ zwischen Fahrwerk und Boden ist die Länge der Ausrollstrecke St angegeben. Durch Schraffur sind die Bereiche von μ gekennzeichnet, die normalerweise vorkommen. Für die übliche kurze Grasnarbe auf Flugplätzen kann man $\mu = 0,07$ als guten Mittelwert einsetzen. Danach hat die FW 190 V 15 ohne Brems-

betätigung eine Ausrollstrecke von etwa $St = 880$ m. Hierbei ist vorausgesetzt, dass die Luftschraube weder bremst noch zieht. Im allgemeinen wird die leerlaufende Schraube gegen Ende des Auslaufs wieder ziehen und so die Rollstrecke verlängern. Bei glattem Boden und etwas hohem Leerlauf kommt das Flugzeug überhaupt nicht zum Stehen. Man muss dann die Radbremsen benutzen oder den Motor abstellen.

Durch die Verwendung der Radbremsen erzielt man auf trockenem Boden einen Wert von $\mu \approx 0,27$ und damit eine Rollstrecke der Fw 190 von $St = 500$ m. Diese Werte stehen in recht gutem Einklang mit der Flugpraxis. Die Anwendung der Luftschraube als Bremse bringt eine erhebliche Verkürzung der Ausrollstrecke. Auf normalem Flugplatz beträgt die Rollstrecke der Fw 190 V 15 nach der Rechnung (Bild 5) nur noch $St = 270$ m, bei zusätzlicher Verwendung der Radbremsen noch $St = 210$ m. Hierbei ist angenommen, dass vom Augenblick des Aufsetzens an die Luftschraube den vollen Bremsschub nach Bild 4 liefert.

Man könnte die Frage stellen, warum man die Luftschraube als Bremse für die Landung nicht längst zur Anwendung gebracht hat, wenn die Rechnung solch augenscheinliche Vorteile erwarten lässt. Denn eine Verkürzung der Ausrollstrecken von 880 m auf 270 m bzw. 500 m auf 210 m bei Benutzung der Radbremsen, bei der Fw 190 ist ein Gewinn, für den man schon etwas Aufwand in Kauf nehmen würde. Andererseits gelangen Verstellnaben doch bereits seit einigen Jahren mit guter Betriebsreife auf fast allen Flugzeugen zum Einsatz, Man könnte annehmen, dass die ersten Versuche, mit der Luftschraube beim Auslauf Bremsschub hervorzurufen, nachteilige Folgen für das Verhalten des Flugzeugs, etwa starke Ausbrechneigung o.ä. ergeben und somit die Einführung der Luftschraubenbremse erschwert oder gar unmöglich gemacht hätten. Aber alle diese Befürchtungen erwiesen sich als unrichtig, die Hauptschwierigkeit ist die zu geringe Schaltgeschwindigkeit der Verstellnaben.

Die üblichen Verstellmechanismen (VDM, Junkers) verändern den Blattwinkel etwa mit 1 bis 3° bei den für den Landefall vorliegenden Betriebsbedingungen. Durch das Umschalten der Luftschraube fällt der normalerweise nach hinten gerichtete Schraubenstrahl fort, die Luft wird sogar beim Auslauf nach vorn geblasen. Bei der heute noch meist gebräuchlichen Anordnung der Luftschraube vor dem Rumpf werden beim Fahren der Blätter in Bremsstellung die hinter der Schraube liegenden Teile

von Flügel und Leitwerk stark abgeschirmt. Der Einfluss auf den Flügel führt zu einem erheblichen Auftriebsverlust, die Einwirkung auf das Leitwerk kann Steuerbarkeitsverlust zur Folge haben. Aus diesen Gründen darf das Umschalten von Zugluftschrauben auf Bremsen nicht im Anflug hoch über der Erde sondern erst unmittelbar am Boden erfolgen. Da die Blätter der Fw 190 um den Winkel von 65° verstellt werden müssen, so ergeben sich bei Verwendung der normalen Naben Verstellzeiten von 65 bis etwa 22 Sekunden. Der gesamte Auslauf der Fw 190 dauert je nach Wirkung der Radbremsen nur 20 bis 35 Sekunden. Würde man im Augenblick der Bodenberührung umschalten, so wäre erst am Ende des Auslaufs die Luftschraube in Bremsstellung gelangt, und erst jetzt könnte dem Motor Gas zur Erzeugung von Bremsschub gegeben werden. In diesem Fall hätte die Luftschraubenbremse ihren Sinn und Zweck verloren.

Man kann rechnerisch erfassen, wie sich die Größe der Verstellgeschwindigkeit $\frac{d\beta}{dt}$ auf die Verkürzung der Rollstrecke S_t auswirkt, Bild 6. Die Rollstrecke ohne Luftschraubenbremse

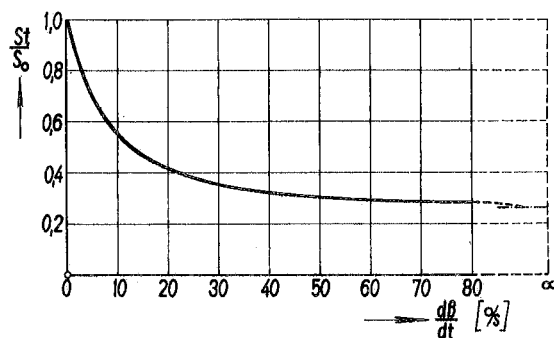


Bild 6. Einfluß der Verstellgeschwindigkeit auf die Rollstrecken.

($\frac{d\beta}{dt} = 0$) ist mit S_0 bezeichnet. Weiterhin ist bei der Berechnung der Kurve von Bild 6 angenommen, dass bei Beendigung des Verstellvorgangs der volle Bremsschub nach Bild 4 anliegt. Eine Verstellgeschwindigkeit von $30^\circ/s$ bringt bereits eine Verkürzung des Auslaufs auf ein Drittel. Wesentlich höher mit der Verstellgeschwindigkeit heraufzugehen, bringt keinen lohnenden Gewinn mehr.

Die Konstruktion und der Bau derartiger Schnellverstellnaben erwies sich als äußerst schwierig. Es ist daher von großem Interesse, zu wissen, welchen Wert von $\frac{d\beta}{dt}$ man höchstens verlangen soll, um eine wirkungsvolle Luftschraubenlandebremse zu erhalten. Bild 6 läßt erkennen, dass eine Steigerung von

$\frac{d\beta}{dt}$ über 30 bis 50°/s sich vom Standpunkt der Bremswirkung (Rollstreckenverkürzung) kaum noch lohnt. Kleiner als etwa 30°/s darf die Verstellgeschwindigkeit aber auch nicht sein, wenn man nicht eine empfindliche Einbusse an Wirkung in Kauf nehmen will.

Es gibt noch einen anderen Gesichtspunkt, der die Größe der Verstellgeschwindigkeit vorschreibt. Beim Übergang des Blattwinkels aus dem Normalbereich um $\beta = 35^\circ$ in den Bremsbereich um $\beta = -30^\circ$ durchfährt die Luftschraube bei etwa $\beta = 10^\circ$ bis 0° einen kritischen Bereich, die sog. Flachstellung, in dem sie bei Leistungszufuhr durch den Flugmotor sehr leicht Überdrehzahlen erreicht. Eine Abschätzung ergab, dass bei der FW 190 V 15 mit DB 603 A bei $v = 200$ km/h und Vollgas eine Drehzahl von $n \approx 3600$ U/Min auftreten würde, was eine Zerstörung des Motors zur Folge hätte. Bei langsamem Verstellen der Blätter muss daher unbedingt auf Leerlauf gedrosselt werden.

Wie oben dargelegt wurde, darf das Umschalten der Zugschraube erst am Boden erfolgen. Um möglichst sofort wirksam zu bremsen, wäre es am besten, unmittelbar nach dem Umschalten (also noch während des Umfahrens der Blätter) den Gashebel von Leerlauf auf Vollgas zu schieben. Die Verstellung der Luftschraubenblätter müsste dabei so schnell erfolgen, dass der kritische Bereich schon durchfahren ist, ehe der Motor entsprechend an Drehzahlen aufgeholt hat. Es erhebt sich die Frage: wie schnell holt der leerlaufende Motor an Drehzahlen auf, wenn man ihm plötzlich Vollgas gibt? Offensichtlich braucht die Luftschraube auch nicht schneller verstellt zu werden als der Motor Gas annimmt.

Um das Verhalten des Flugmotors bei schnellem Gasgeben zu studieren, haben wir einige Standversuche durchgeführt. Eine Lichtschranke bestehend aus einem Scheinwerfer und einer Photozelle wurde durch die Blätter der umlaufenden Luftschraube durchbrochen. Die hierdurch hervorgerufenen Stromschwankungen der Photozelle wurden auf einem Oszillographen festgehalten. Ferner gelangte der Gashebelweg und eine Zeitmarke zur Aufzeichnung. Bei der Auswertung der Schriebe ist der Beginn der Gashebelbewegung als Zeitpunkt $t = 0$ festgelegt. Der Gashebel wurde bei den Messungen möglichst schnell von Leerlauf auf Vollgas gebracht. Es ergab sich, dass diese Bewegung in etwa 0,25 Sekunden ausgeführt wurde. Für den in die Fw 190 eingebauten Flugmotor DB 603 A ist das Aufholen der Dreh-

zahlen in Bild 7 wiedergegeben. Bei Leerlauf betrug die Aus-

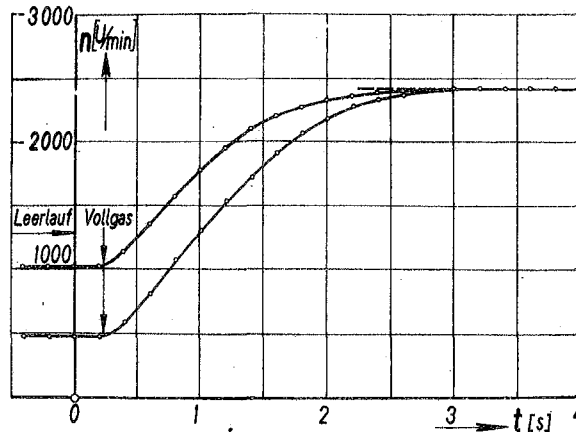


Bild 7. Drehzahlaufholen des DB 603 A bei schnellem Gasgeben am Stand.

gangsdrehzahl $n = 480$ U/min. Bei der zweiten Messung wurde die Ausgangsdrehzahl auf $n = 1010$ U/Min eingestellt, was etwa den Drehzahlen beim Anflug zur Landung mit Leerlaufstellung der Gasdrossel entspricht. In beiden Fällen wurde bei schnellem Vollgasgeben die Enddrehzahl in etwa 2,9 Sekunden erreicht. Diese Zeit änderte sich nicht, wenn am Boden der Lader voll miteingeschaltet wurde. Auch in diesem Fall lag die Enddrehzahl von $n = 2700$ U/Min in 2,9 Sekunden an. Messungen an anderen Flugmotorenmustern (BMW VI, BMW 801 A, Bramo 323 P1, Jumo 211 A) hatten das interessante Ergebnis, dass unabhängig von Motorart und -größe die Zeit bis zum Einlaufen der Enddrehzahl immer rund 3 Sekunden beträgt [6]. Die oben angegebene, unzulässig hohe Drehzahl von $n = 3600$ U/Min bei der Flachstellung wird demnach auch in etwa 3 Sekunden erreicht sein. Die zulässige Drehzahlgrenze von $n = 2700$ U/Min würde dann schon nach etwa 2 Sekunden überschritten werden. In dieser Zeit müsste also die Luftschraube umgefahren sein. Da ein Winkelbereich von 65° zu durchfahren ist, muss die Verstellgeschwindigkeit nach dieser Überlegung etwa 30 bis $40^\circ/\text{s}$ betragen. Man kommt demnach aus beiden Abschätzungen, bedingt durch den Wunsch nach bester Wirkung und bequemster Handhabung, zu den gleichen Werten für $\frac{d\beta}{dt}$.

Die Messerschmitt-Werke waren die ersten, die mit ihrer Verstellnabe die geforderte Verstellgeschwindigkeit in der Flugpraxis verwirklichen konnten. Den Aufbau der Nabe Me P 8 zeigt

Bild 8 . Auf der Luftschraubenwelle des Flugmotors ist eine

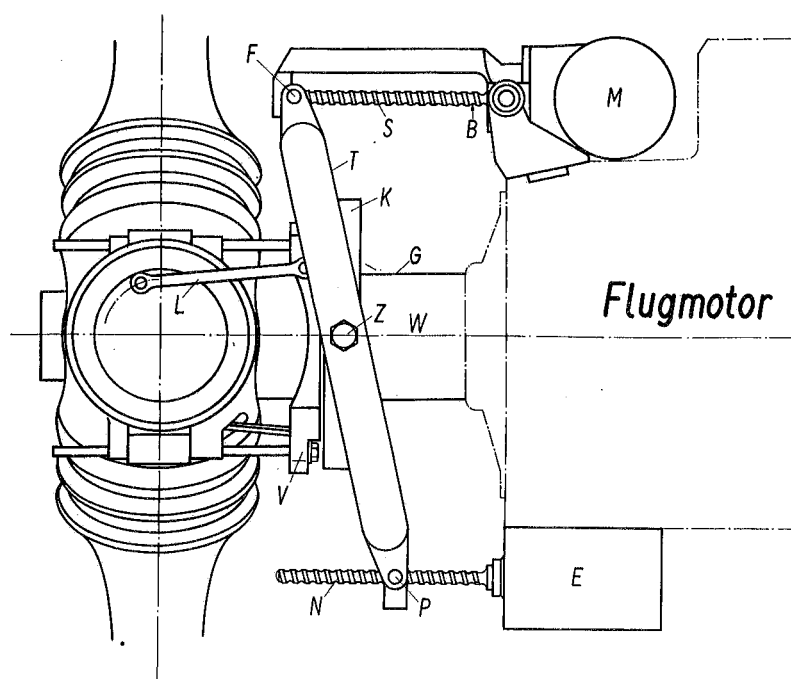


Bild 8. Aufbau der Me P 8 - Nabe.

Gleitbuchse G angebracht. Auf ihr kann sich achsial ein Schulter-Kugellager K verschieben. Der innere, sich mitdrehende Kugellagerring ist mit der Verstellmuffe V fest verbunden. An dieser Muffe ist für jedes Luftschraubenblatt ein Lenker L angeschlossen, der an einem Zapfen des Blattfusses angreift. Bei achsialem Verschieben des Kugellagers K und der Verstellmuffe V auf der Gleitbuchse G wird so über die Lenker L der Blattwinkel verstellt. An dem äusseren, ruhenden Kugellagerring ist durch den Zapfen Z die Traverse T angeschlossen. Die Traverse hat an ihrem oberen und unteren Ende je eine Mutter bei F und P, die auf der Spindel S bzw. N läuft. Im normalen Zustand steht die obere Mutter an vorderen Ende F der Spindel S (Flugstellung), und die Änderungen des Blattwinkels zwischen Start-, Steig- und Reiseflug werden durch Drehen der unteren Spindel N mit Hilfe eines kleinen Elektromotors E vorgenommen. Die Verstellgeschwindigkeit beträgt in diesem Falle $2^{\circ}/s$. Das Schwenken der Traverse erfolgt dabei um den Punkt F. Das Kugellager K wird etwa halb so schnell achsial verschoben, wie sich die Mutter auf der Spindel N bewegt. Zur Schnellverstellung (Übergang in den Bremsbereich) wird über einen starken Motor M die Spindel S sehr rasch gedreht. Die obere Mutter der Traverse

Bild 9. Anordnung der Me P 8 in Normalstellung, $\beta = 34^\circ$

Bild 10. Anordnung der Me P 8 in Bremsstellung, $\beta = -31^\circ$

läuft schnell von F nach B. Die Drehung der Traverse erfolgt dabei jetzt um den Punkt P.

Bei der auf der FW 190 V 15 angebrachten Me P 8-Anlage handelt es sich um das erste Versuchsmuster dieses Typs. Der Schnellverstellmotor hat eine Leistungsaufnahme von 1200 bis 1500 Watt. Den Aufbau der Me P 8 auf der FW 190 V 15 geben Bild 9 und 10 wieder. In Bild 9 befinden sich die Luftschraubenblätter in Startstellung, $\beta = 34^\circ$, in dem Bild 10 in Bremsstellung, $\beta = -31^\circ$. Zum Ausgleich der Zentrifugalmomente sind an den Füßen der Blätter Fliehgewichte angebracht, Bild 11.

Bild 11. Anordnung der Ausgleichsgewichte an der Me P 8. Die Gewichte sind so eingestellt, dass unter den Bedingungen des Landeanflugs (Leerlauf bei etwa $v = 200 \text{ km/h}$) das Fahren in Bremsstellung und aus ihr heraus gleich schnell erfolgt. Die Ansicht der gesamten Luftschraube gibt Bild 12 für die Normalstellung und Bild 13 für die Bremsstellung wieder.

Die Bedienanlage war in der FW 190 sehr einfach gehalten. Auf der Bedienbank links befand sich ein Kippschalter zum Umschalten der Luftschraube. Diese einfache Anordnung mag für ein-

Bild 12. FW 190 V 15. Luftschraube in Normalstellung.

Bild 13. FW 190 V 15, Luftschraube in Bremsstellung.

motorige Maschinen noch genügen, für mehrmotorige Flugzeuge mit seitlich angebrachten Motoren muss sie anders ausgebildet werden, worauf wir früher bereits ausführlich hingewiesen haben. [6].

Ergebnisse der Versuche und Messungen

Mit der FW 190 V 15 haben wir in der Versuchszeit etwa 120 Bremslandungen durchgeführt. Dabei hat die Nabe Me P 8 einwandfrei gearbeitet und zu keinerlei Beanstandungen Anlass gegeben. Das Rollverhalten der FW 190 insbesondere die Stabilität um die Hochachse blieb in Ordnung. Wir haben zuerst für die Bremslandungen den Schwanzsporn festgelegt. Es zeigte sich jedoch, dass diese Maßnahme nicht erforderlich ist, und etwa von der 45. Landung an sind alle weiteren mit losem Sporn vorgenommen. Ein Ausbrechen oder gar „Ringelpietz“ ist niemals vorgekommen. Die Maschine hat nach dem Umschalten und Vollgasgeben ganz leicht die Neigung, nach rechts wegzugehen, was aber schon durch Seitenruderausschlag beherrscht werden kann.

Die auftretenden Bremsbeschleunigungen werden vom Flugzeugführer nicht als unangenehm empfunden, zumal man bei der FW 190 als Heckradmaschine bei der Landung nach hinten geneigt sitzt.

Eine Reihe von Landungen wurde vermessen. Bestimmt wurden der zeitliche Verlauf von Geschwindigkeit, Motordrehzahl, Umschaltung der Luftschraube, Kurs sowie in einigen Fällen auch das Anlegen der Vollgasstellung am Gashebel. Alle Meßgeräte sind auf einem Instrumentenbrett zusammengefasst, das im Rumpf der FW 190 angebracht war. Die Anzeigen wurden in Abständen von etwa 0,5 Sekunden durch eine Motor-Leica im Lichtbild festgehalten (Stummer Beobachter). Die Bedingungen, unter denen die Messungen durchgeführt werden mussten, sind sehr schwer, da beim Auslauf die Maschine erheblichen Erschütterungen ausgesetzt ist, die sich den Meßgeräten mitteilen. Am meisten störten die Drehbewegungen des Flugzeugs um die Querschse (Wippen). Die Drehachse der Zeiger der Meßgeräte lag parallel zur Querschse. Daher war mit einem Schwanken der Zeiger um den Meßwert zu rechnen. Durch genügend dichte Folge der Meßpunkte liessen sich diese Schwankungen bestimmen, und so

gelang es, recht gute Mittelwerte zu erhalten. Die Wiedergabe der bei den Landeausläufen vorgekommenen Kursabweichungen kann unterbleiben, da wie schon erwähnt, kein Ausbrechen auftrat.

Bei der Auswertung der Landemessungen ist der Augenblick der ersten Bodenberührung als Zeitpunkt $t = 0$ festgelegt. Dieser Zeitpunkt konnte sehr genau bestimmt werden, da der Beginn der Raddrehung durch einen elektrischen Kontakt im Stummens Beobachter angezeigt wurde. Weiterhin war der Landestoss durch die leichte Erschütterung des Instrumentenbretts im Lichtbild immer sehr gut zu erkennen. Die Ausrolldauer ist bei jedem Flug von einem Beobachter auf der Erde mittels Stoppuhr gemessen worden.

Alle im folgenden beschriebenen Landungen fanden bei Windstille oder nur leichtem Wind statt. Die angegebenen Geschwindigkeiten sind Geschwindigkeiten über Grund. Auch bei starkem Wind und sehr hoher Böigkeit sind mehrere Landungen mit Luftschraubenbremse durchgeführt worden. Es ergaben sich dabei keinerlei Beanstandungen. Auf die Vermessung wurde verzichtet, da die starke Verkürzung der Rollstrecke dann ja zum Teil auf den Windeinfluss und nicht nur auf die Anwendung der Luftschraube als Bremse zurückzuführen ist. Auch Seitenwind bereitete keine größeren Schwierigkeiten als bei Landung ohne Luftschraubenbremse.

Um eine Vergleichsbasis zu erhalten, sind einige Landungen der FW 190 V 15 ohne Bremsbetätigung oder mit ausschliesslicher Anwendung der Radbremsen vermessen. Bild 14 zeigt die Landung

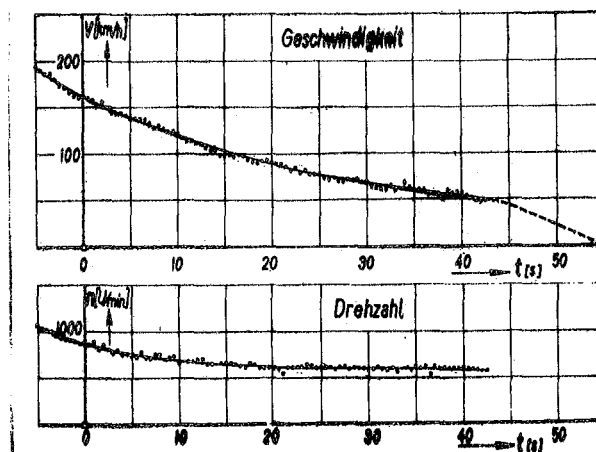


Bild 14. Landung Nr. 1, ohne Bremsen bei leerlaufendem Motor, St = 1180 m.

Nr. 1, bei der bei leerlaufendem Flugmotor kein Bremsmittel benutzt werden sollte. Gegen Ende des Auslaufs zog jedoch die Luftschraube schon wieder so stark, dass das Flugzeug an der Platzgrenze nicht zum Stehen gekommen wäre. Daher mussten am Ende die Radbremsen doch zur Hilfe herangezogen werden. Bei einer weiteren Landung, Bild 15, wurde dann im Augenblick des

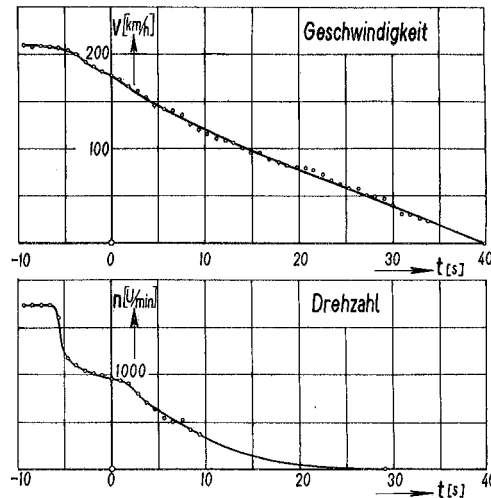


Bild 15. Landung Nr. 2, ohne Bremsen mit abgestelltem Motor, $St = 897$ m.

Aufsetzens durch Betätigung des Schnellstopps der Motor ausgeschaltet. Es ergab sich dann ohne Bremsen eine Auslaufstrecke von $St = 897$ m, eine Länge, die mit den Rechnungen des Bildes 5 gut übereinstimmt.

Die Wirksamkeit der Radbremsen hängt in hohem Maße von der Beschaffenheit des Bodens ab. Wenn er sehr glatt ist, z.B. nasser Rasen und vereister Platz, kann der Reibungskoeffizient zwischen Boden und Fahrwerk nur klein sein [6]. Das Ausrollen bei einer Landung der FW 190 auf abgetrocknetem Gras und feuchtem Untergrund gibt Bild 16 wieder. Die Radbremsen wurden vom Augenblick des Aufsetzens an betätigt, ohne die Räder zu blockieren. Bei sehr trockenem und daher griffigem Boden wird unter den gleichen Bedingungen der Auslauf kürzer, Bild 17. Die hierbei erzielte Rollstrecke $St = 520$ m ist etwa das Optimum, das man mit der FW 190 V 15 bei Benutzung der Radbremsen auf normalem Flugplatz erhalten kann. Auch hier herrscht recht gute Übereinstimmung mit den Rechenergebnissen des Bildes 5.

Bei den vorgeschriebenen Federbein- und Reifendrücken zeigt die FW 190 V 15 bei Aufsetzen in Dreipunktlage Neigung, einen

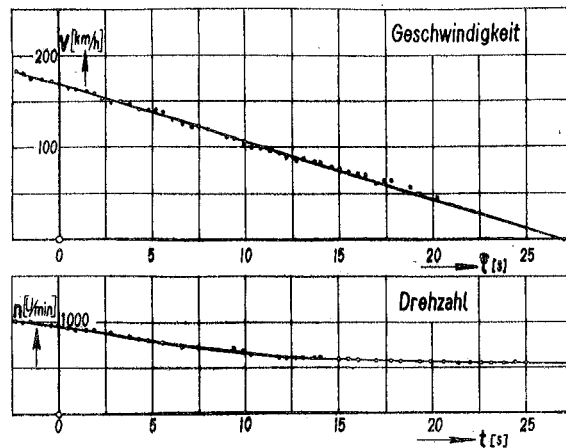


Bild 16. Landung Nr. 3, mit Radbremsen und leerlaufendem Motor auf trockener Grasnarbe und feuchtem Untergrund. St = 628 m.

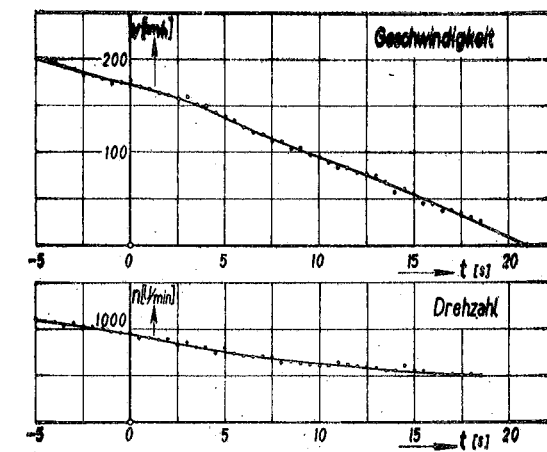


Bild 17. Landung Nr. 4, mit Radbremsen und leerlaufendem Motor auf sehr trockener Grasnarbe, St = 520 m.

Sprung zu machen. Die Ursache liegt sicher nicht nur in der geringen Dämpfung der Fahrwerkfederung sondern auch in dem etwas „unruhigen“ Göttinger Flugplatz. Wir haben durch Beobachtung von anderen FW 190-Landungen diesen Landsprung auch bei sonst guter Landetechnik häufig gesehen. Bei unseren ersten Versuchen, mit der Luftschraube zu bremsen, haben wir daher aus Vorsichtigkeitsgründen erst den etwaigen Sprung abgewartet und kurz vor der zweiten Bodenberührung umgeschaltet, Bild 18. Der Sprung hatte eine Länge von etwa 140 m. In der 2,6. Sekunde ist die Luftschraube umgeschaltet worden. Das Verstellen der Blätter von $\beta = 34^\circ$ auf $\beta = -31^\circ$ ging in 1,2 Sekunden vor sich; demnach war die Verstellgeschwindigkeit $\frac{d\beta}{dt} = 54^\circ/\text{s}$

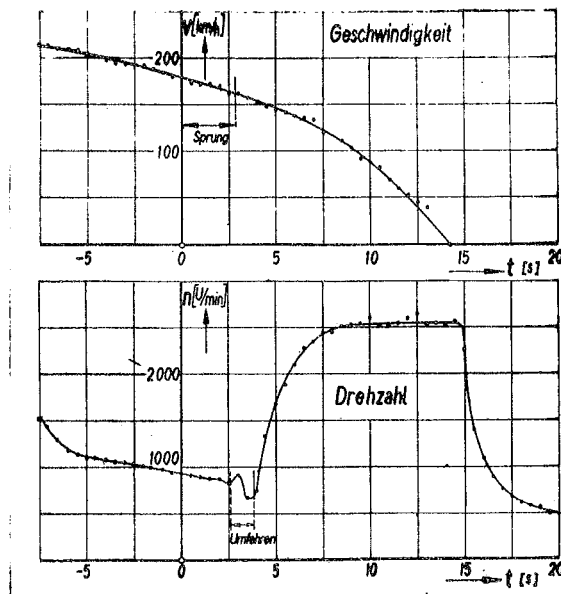


Bild 18. Landung Nr. 5, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, Umschalten nach einem Sprung, $St = 440$ m.

bei einer Geschwindigkeit $v \approx 160$ km/h und leerlaufendem Motor. Durch besondere Messungen ist ermittelt worden, dass für diesen Betriebszustand: Leerlauf und $v \approx 190$ km/h die vorliegende Me P 8-Anlage die Luftschraubenblätter des FW 190 in jeder Richtung mit einer Verstellgeschwindigkeit von 50 bis 60°/s verdreht. Bild 18 lässt erkennen, wie nach dem Umschalten die Drehzahl wegen des Durchgangs des Blatteinstellwinkels durch den kritischen Bereich (Flachstellung) trotz der hohen Verstellgeschwindigkeit leicht ansteigt. Anschließend fällt die Drehzahl ab, weil zu dem jetzt anliegenden Blatteinstellwinkel von $\beta = -31^\circ$ und $v \approx 160$ km/h eine wesentlich kleinere Drehzahl ($n \approx 500$ U/Min) gehört, als zum Leerlauf bei $\beta = 34^\circ$ ($n \approx 1000$ U/Min). Der Wert von $n = 500$ U/Min wird jedoch nicht mehr erreicht, weil inzwischen dem Motor Gas gegeben wurde und er dadurch an Drehzahlen aufholt. Die periodischen Steuungen der Meßpunkte nach dem Aufsetzen rühren her von dem schon erwähnten Wippen des Flugzeugs um die Querachse. Die Ausrollstrecke wird natürlich durch den nicht abgebremsten Sprung verhältnismäßig lang, wenn auch schon ein erheblicher Gewinn gegenüber den Landungen ohne Luftschraubenbremse festzustellen ist. Eine Landung ohne Sprung gibt Bild 19 wieder. Hier erfolgte das Umschalten fast genau im Augenblick der Bodenberührung. Nach dem Umfahren der Blätter fallen die

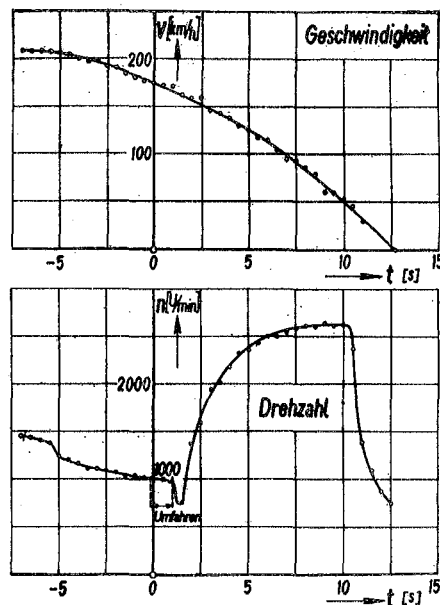


Bild 19. Landung Nr. 6, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, St = 340 m.

Drehzahlen ab. Dieses Abfallen bedeutet natürlich einen Verlust an Zeit und damit an Bremswirkung, da ja der Bremsschub erst später auftritt. Die Zeitdifferenz entsteht dadurch, dass nach dem Umschalten der Flugzeugführer erst dann den Gashebel auf Vollgas schiebt, wenn ihm durch Aufleuchten einer Kontrolllampe das Anliegen des Bremswinkels ($\beta = -31^\circ$) angezeigt wird. Selbst bei schnellem Reagieren des Flugzeugführers entstand ein untragbarer Verlust. Bei der Landung in Bild 20 wurde fast unmittelbar nach dem Umschalten Gas gegeben. Schon während des Umfahrens der Blätter holt der Flugmotor an Drehzahlen auf. Aber auch hier verstreichen noch einige Sekunden, zwischen der Bodenberührung und dem Anliegen des vollen Bremsschubes. Die Krümmung der Geschwindigkeitskurve lässt erkennen, dass gute Bremsbeschleunigung erst von der 4. Sekunde an wirkt.

Eine weitere Steigerung der Bremswirkung war mit Sicherheit zu erwarten, wenn das Umfahren der Luftschraubenblätter bereits im Anflug erfolgt. Es muss aber streng darauf geachtet werden, dass dieser Vorgang unmittelbar über dem Boden vor sich geht. Das Umschalten in grösseren Höhen würde bei Anordnung der Luftschraube als Zugschraube vor Flügel und Leitwerk durch den Auftriebsverlust ganz sicher zu Sinkgeschwindigkeiten führen, die von Fahrwerk und Flugzeug nicht aufgenommen werden können; ganz abgesehen davon, dass das Flugzeug vermutlich durch die Abschr-

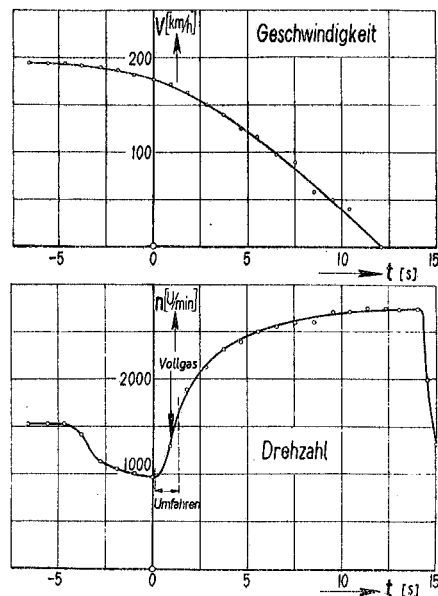


Bild 20. Landung Nr. 7, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, St = 328 m.

mung des Leitwerks an Steuerbarkeit verliert. Wir haben durch schrittweises Vorgehen versucht zu ermitteln, wie weit man mit Fluggeschwindigkeit und Höhe gehen kann. Bei Umschalten in 0,5 m Höhe war bei der $190\text{ V } 15$ der Aufschlag bei der anschliessenden Bodenberührung etwa mit einer harten Landung vergleichbar. Eine Überbeanspruchung lag noch nicht vor. Die Maschine setzt sich nach dem Umschalten sofort hin und hat nicht die geringste Neigung zu springen. Es ist sogar besser, kurz vor der ersten Bodenberührung den Bremsschalter zu betätigen als erst im Augenblick des Aufstosses; denn dann besteht die Gefahr, dass die Maschine springt und das Umfahren der Blätter erst im Sprung, der oft höher als 0,5 m ist, erfolgt. Ein gefährliches Kippen des Flugzeugs über den Flügel oder auf den Kopf haben wir nicht beobachtet.

Einer der ersten Versuche, vor der Landung die Luftschraube umzufahren, ist in Bild 21 dargestellt. Das Umschalten erfolgte 1,5 Sekunden vor der Bodenberührung bei normaler Anschwebegeschwindigkeit ($v \approx 180\text{ km/h}$). Das Gasgeben geschah verhältnismässig spät, da der Flugzeugführer erst das Aufleuchten der Kontrollampe und die Landung abwartete. Mit einer wesentlichen Verkürzung der Rolldauer und damit Rollstrecke ist zu rechnen,

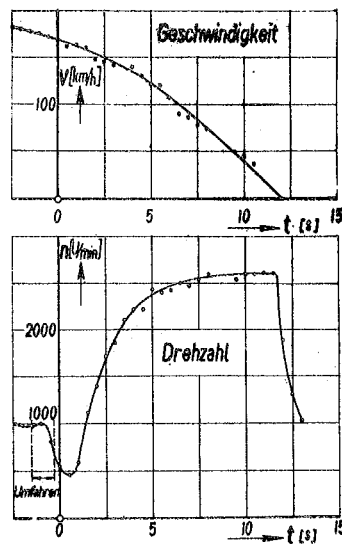


Bild 21. Landung Nr. 3, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, St = 330 m.

wenn man den Zeitverlust durch den Abfall der Drehzahlen unmittelbar nach dem Umfahren (etwa 2 bis 3 Sekunden in Bild 21) durch frühzeitiges Gasgeben vermeidet. Einen derartigen Flug zeigt Bild 22. Zwei Sekunden vor der Landung wurde umgeschaltet

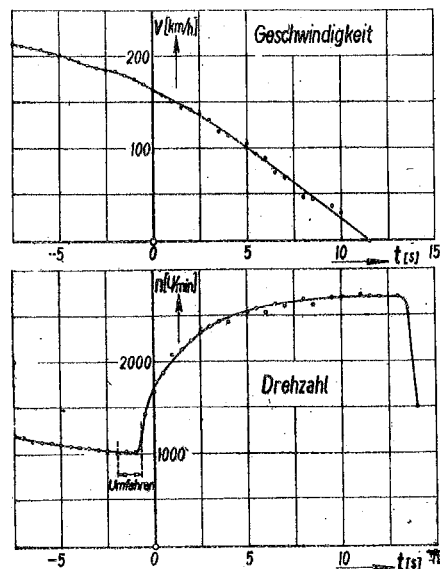


Bild 22. Landung Nr. 9, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, St = 272 m.

und fast sofort Gas gegeben. Im Augenblick der Bodenberührung betrug die Drehzahl bereits $n = 1700$ U/Min. Der Gewinn an

Rollstreckenverkürzung ist sehr spürbar.

Bei einem Versuch, Umschalten und Vollgasgeben noch schneller aufeinander folgen zu lassen, verlangsamte sich die Verstellzeit auf über 2 Sekunden, Bild 23. Der während des Um-

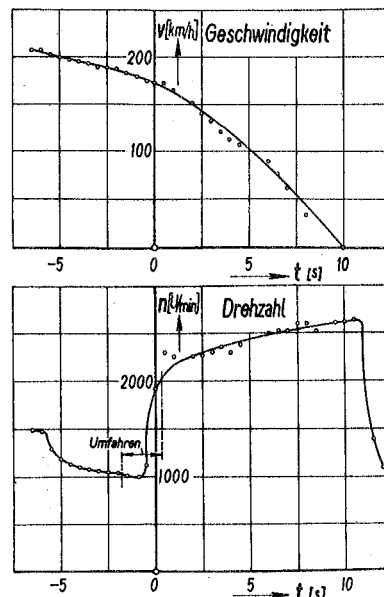


Bild 23. Landung Nr. 10, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, St = 266 m.

fahrens der Blätter bereits einsetzende Leistungszufluss vom Flugmotor zur Luftschraube erfordert größere Verstelleleistungen, wie aus früheren Arbeiten bekannt ist [1 und 6]. Die Luftkraftmomente um die Blattachse wachsen an. Es war zu vermuten, dass die Me P 8-Anlage auf der FW 190 bei dem Betriebszustand des Landeanflugs (Leerlauf des Motors und v um 190 km/h) schon an der Grenze ihrer Leistung arbeitet und keine Reserve mehr besitzt. Um eine gewisse Klarheit und Bestätigung dieser Vermutung zu erhalten, sind einige Standversuche durchgeführt worden. Man muss sich aber darüber klar sein, dass die Verhältnisse am Stand nicht denen des Landeanflugs entsprechen. Die Luftschraube wurde bei verschiedenen ansteigenden Ausgangsdrehzahlen des Flugmotors und damit wachsender Leistungszufuhr zur Schraube umgeschaltet. Gemessen wurde dabei der zeitliche Verlauf der Drehzahlen und die Verstellgeschwindigkeit. Bild 24 stellt das Ergebnis dar bei Fahren der Blätter aus der Normalstellung in den Bremsbereich und Bild 25 beim Fahren aus der Bremsstellung in den Normalbereich zurück. Der Beginn des Umschaltens liegt im Zeitpunkt $t = 0$; die Pfeilspitzen geben an, wann der Verstellvorgang beendet war.

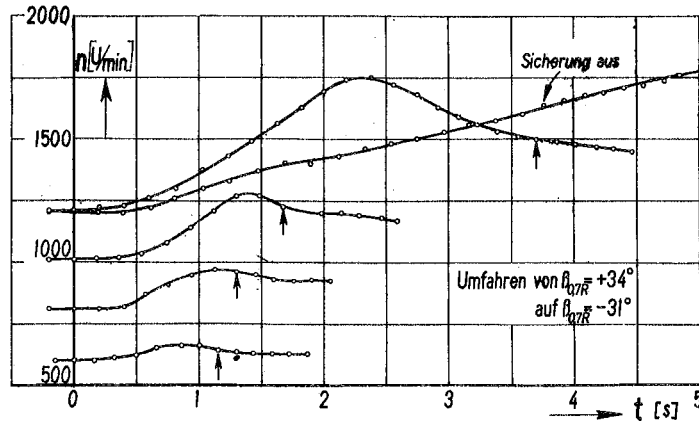


Bild 24. Umfahren der Luftschraube am Stand bei verschiedenen Motordrehzahlen, Fahren in Bremsstellung.

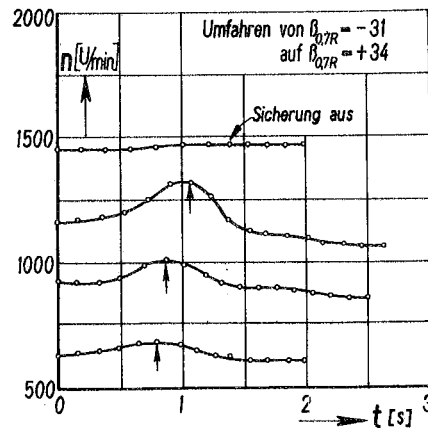


Bild 25. Umfahren der Luftschraube am Stand bei verschiedenen Motordrehzahlen, Fahren aus der Bremsstellung.

Mit zunehmender Ausgangsdrehzahl und damit Leistungszufuhr zur Schraube wird die Verstellzeit immer länger, bis bei einer Drehzahl $n = 1200$ U/Min für das Fahren in Bremsstellung eine Grenze erreicht wird. Hier wird die Belastung des Schnellverstellmotors so groß, dass in einem Fall das Umfahren gerade noch in 3,7 Sekunden geschafft wurde; in einem anderen Fall fiel der elektrische Selbstschalter (Sicherung) aus. Wenn auch die Betriebszustände (Drehzahlen, Gasdrosselstellung usw.) vom Stand nicht ohne weiteres auf den Landeanflug übertragen werden können, so beweisen diese Versuche doch, dass die vorliegende Verstellanlage leistungsmäßig an der Grenze arbeitet und nicht viel Reserve aufweist.

Das ist von besonderer Bedeutung und Wichtigkeit für die oben beschriebene und erprobte Handhabung der Luftschrauben-

bremse: das Gasgeben unmittelbar nach dem Umschalten. Bild 23 lässt deutlich erkennen, dass das Verstellen der Blätter durch das schnelle Drehzahlauflösen länger dauert. Es könnte auch einmal der Fall eintreten, dass der Selbstschalter ausfällt bevor die Bremsstellung der Blätter ($\beta = -31^\circ$) erreicht ist. Je näher dann der Blatteinstellwinkel beim kritischen Bereich (Flachstellung) stehen geblieben ist, umso größer ist die Gefahr, dass durch das Vollgasgeben der Motor Überdrehzahlen macht. Eine Sicherung dagegen, falls sie für nötig gehalten wird, könnte darin bestehen, bei Überschreiten der Höchstdrehzahl über einen Drehzahlregler die Zündung des Motors auszuschalten. Andererseits ist mit diesem Fehler und Versagen selten zu rechnen, vor allem, wenn man die Leistungsarmut der Verstelleinrichtung behebt. Man könnte z.B. den Verstellmotor verstärken. In der Entwicklung ist allerdings die entgegengesetzte Richtung festzustellen: Die Me P 8-Nabe der anlaufenden Serie erhält nicht wie bei unserer FW 190 V 15 einen 1200 bis 1500-Watt-Motor sondern einen mit 800 Watt Leistungsaufnahme.

Ein anderes wirksames Mittel besteht darin, die Ausgleichsgewichte an den Blattfüßen (Bild 11)⁹⁰ zu bemessen und einzustellen, dass das Verstellen der Blätter in Bremsstellung beim Landeanflug durch die Zentrifugalmomente unterstützt wird. Man muss dann auf die Möglichkeit verzichten, in der Landung aus der Bremsstellung wieder in den Normalbereich zurückzufahren, um durchzustarten. Die Anforderung wäre sowieso völlig überspitzt, denn wenn bei der Landung nach dem Umfahren der Luftschraube auf Bremsen die Strecke zum Ausrollen nicht mehr langt, dann ist sie für ein Durchstarten ganz sicher zu kurz. Das Zurückfahren der Blätter in Normalstellung erfolgt am besten nach Stillstand des Flugzeugs bei leerlaufendem Motor. Es muss natürlich geprüft werden, dass die Stellung der Ausgleichsgewichte ein einwandfreies Arbeiten der Verstellung im Normalbereich (Start-, Steig- und Reiseflug) zulässt. Wir werden unsere Versuche auf der FW 190 V 15 demnächst in diesem Sinne erweitern.

Der durch die bremsende Luftschraube hervorgerufene Auftriebsverlust macht zwar ein Umschalten (bei Zugschrauben) in größerer Höhe unmöglich, er hat aber die äußerst erwünschte Folge, dass das Flugzeug nach der ersten Bodenberührung nicht mehr springt. Weiterhin sind die Radbremsen gleich nach dem Aufsetzen schon sehr wirksam, da ja sofort ein großer Teil des Flugge-

wichts auf den Rädern ruht. Diese Tatsache im Verein mit der hohen Wirksamkeit der Luftschraubenbremse überhaupt legten den Gedanken nahe, die Landetechnik zu vereinfachen [6]. Danach soll der Landeplatz vom Flugzeugführer ohne volle Rücksicht auf die sonst einzuhaltende untere Grenze der Gleitflug- und Landegeschwindigkeit angedrückt werden. Unmittelbar über dem Boden wird dann die Luftschraube umgeschaltet und Gas gegeben. Die Flughöhe wird dabei am besten so gewählt, dass der Auftrieb des Flügels im Augenblick der Bodenberührung zusammenbricht. Derartige Landungen mit Übergeschwindigkeit haben sich als durchaus möglich erwiesen, und die Ergebnisse haben unsere Vermutungen und Erwartungen vollauf bestätigt. Bei leerlaufendem Motor ging das Verstellen der Luftschraube selbst bei Geschwindigkeiten von $v = 230$ km/h einwandfrei vor sich. Im Augenblick des Umfahrens tritt schon, bevor der Motor an Drehzahlen aufholt, eine spürbare Bremswirkung ein. Das Flugzeug setzt sich sofort hin und springt überhaupt nicht. Der anschliessende, durch die Luftschraube gebremste Auslauf hat die kürzesten von uns erreichten Rollstrecken. Die vielleicht entgegengehaltene Ansicht, dass bei dieser Landetechnik zwar die Rollstrecke kurz, dafür aber die Strecke von einem z.B. 20 m hohen Hindernis bis zum Aufsetzpunkt länger sei als bei der normalen Landung, ist irrig. Es wird dabei übersehen, dass einmal wegen der höheren Geschwindigkeit der Anflug steiler ist und weiterhin die Flugstrecke für das Ausschweben fortfällt.

Bild 26 stellt die Vermessung einer solchen Landung dar.

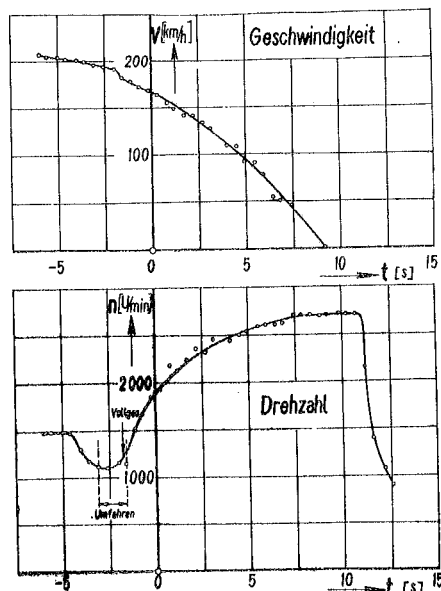


Bild 26. Landung Nr. 11, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, $St = 238$ m.

Umgeschaltet wurde im Anflug bei einer Geschwindigkeit von 200 km/h. Die Flughöhe betrug dabei etwa 0,3 m. Die Verstellung der Luftschraubenblätter dauerte 1,5 Sekunden und nach weiteren 1,5 Sekunden setzte das Flugzeug auf. Der Verlauf der Geschwindigkeitskurve zeigt, wie schon beim Verstellen eine starke Bremswirkung einsetzt. Durch zügiges Gasgeben liegt bei der Landung bereits eine Drehzahl von $n = 1900$ U/Min an; daher ist der anschließende Auslauf sehr kurz, $St = 238$ m. Bei noch schnellerer Aufeinanderfolge von Umschalten und Gasgeben trat auch hier eine Verlängerung der Verstellzeit auf 2,5 Sekunden auf, Bild 27.

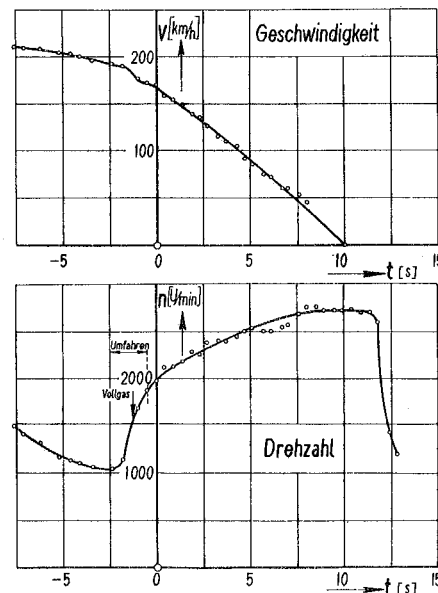


Bild 27. Landung Nr. 12, mit Luftschraubenbremse ohne Radbremse, $St = 239$ m.

Wir haben die Geschwindigkeit, bei der die Luftschraube verstellt wurde, bis auf $v = 230$ km/h gesteigert, ohne den Eindruck zu gewinnen, dass damit schon eine Grenze erreicht sei. Der nächste Schritt soll der sein, das Schalten der Luftschraube und Gasgeben automatisch durch einen Landefühler oder Bodenabstandsmesser auszulösen. Es ist zu erwarten, dass damit für hochbelastete Flugzeuge und vor allem für die Nacht- und Blindlandung eine erhebliche Steigerung der Flugsicherheit zu erzielen ist.

Zum Schluss wurden noch einige Messungen vorgenommen, bei denen zur Luftschraubenbremse auch noch die Radbremse hinzugefügt war. Ein Beispiel gibt Bild 28 wieder. Der Größe nach ist der Gewinn an Rollstreckenverkürzung nicht mehr hoch,

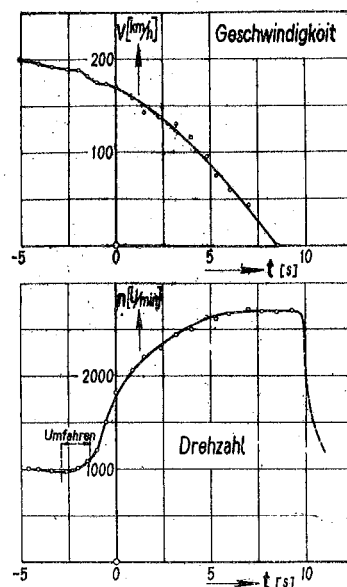


Bild 28. Landung Nr. 13, mit Luftschrauben- und Radbremse, St = 225 m.

wie auch schon Bild 5 erwarten ließ.

In der Tabelle 2 sind die beschriebenen Landungen noch einmal zusammengestellt. In der Spalte R ist durch + oder - Zei-

Nr.	R	L	St[m]	T[s]	b[m/s ²]	Bemerkungen
1	-	-	1180	55,0	0,81	Leerlauf, gegen Ende mit Radbremsen
2	-	o	897	39,8	1,24	Motor abgestellt
3	+	-	628	27,0	1,74	abgetrocknete Grasnarbe bei feuchtem Untergrund
4	+	-	520	21,0	2,21	sehr trockener Boden
5	-	+	440	14,2	3,48	Sprung! spätes Umschalten
6	-	+	340	12,7	3,81	kein Springen
7	-	+	328	12,1	4,06	Umschalten bei Bodenberührung
8	-	+	330	12,0	3,89	Umschalten vor der Bodenberührung
9	-	+	272	11,5	3,94	Umschalten vor der Bodenberührung sofort Gas
10	-	+	266	10,0	4,81	
11	-	+	238	9,2	5,01	
12	-	+	239	10,0	4,64	
13	+	+	225	8,5	5,56	

Tabelle 2.

chen gekennzeichnet, ob mit oder ohne Radbremsen ausgerollt wurde. Die Spalte L bezieht sich auf die Luftschraube, es bedeutet: - = Leerlauf, 0 = abgestellter Motor und + = Gasgeben. Ausser der Rollstrecke St ist noch die Rolldauer T und die mittlere Bremsbeschleunigung b angegeben. Für die Länge des Auslaufs bei Anwendung der Luftschraube als Bremse ergibt sich je nach der Handhabung ein Wert zwischen 340 m und 238 m. Der Mittelwert beträgt etwa 280 m, während bei Hinzufügen der Radbremsen etwa 225 m benötigt werden. Diese Werte stehen in ausgezeichneter Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Rechnung in Bild 5. Hiermit ist für den vorliegenden Fall die Brauchbarkeit und Güte der früher aufgestellten und mitgeteilten Formeln [1 und 6] bewiesen. Die Wirkung der Luftschraubenbremse ist im Gegensatz zur Radbremse von der Bodenbeschaffenheit unabhängig. Das ist von besonderer Wichtigkeit bei Landungen auf glatten Flächen (z.B. nassem Rasen, Eisfläche usw.).

Auf eine interessante Beobachtung sei noch hingewiesen. Gegen Ende des Auslaufs mit Luftschraubenbremse glaubt der Flugzeugführer, dass das Flugzeug bereits zum Stillstand gekommen sei, wenn, wie die Messungen einwandfrei zeigten, die Rollbewegung noch nicht zu Ende ist. Er nimmt auf Grund dieser Täuschung dann zu früh Gas weg, was z.B. Bild 19 sehr schön erkennen lässt. Wir haben daher später bewusst das Vollgas länger anliegen lassen, selbst wenn dadurch eine kleine Rückwärtsbewegung des Flugzeugs eingeleitet wurde, Bild 22, 26 und 27.

Für die erste Einführung der Luftschraubenlandebremse in größerem Umfang sollte man auf die äusserste Ausnutzung der gegebenen Möglichkeiten verzichten, um erst Betriebserfahrungen zu sammeln. Es besteht sonst die Gefahr, dass die Flugzeugführer im falschen Ehrgeiz, möglichst kurz zu landen, Bedienungsfehler begehen, die zum Bruch führen. Daher soll das Umschalten der Schraube erst nach dem Aufsetzen beim Rollen erfolgen. Das Gasgeben kann dann sofort vorgenommen werden; denn dann noch zu warten, bis ein akustisches oder optisches Signal das Anliegen des Bremswinkels an der Luftschraube anzeigt, erscheint übertrieben vorsichtig. Hinzukommt noch, dass die Aufmerksamkeit des Flugzeugführers durch die Landung selbst stark in Anspruch genommen ist. Vom Standpunkt der Bedienung kann daher auf eine Anzeige des Bremswinkels

verzichtet werden, was ja auch im Sinne einer Vereinfachung der Verstellanlage ist. Voraussetzung für diese Handhabung ist, dass die Verstellgeschwindigkeit mindestens $30^{\circ}/s$ beträgt. Das versehentliche Betätigen des Umschalters im Fluge wird dadurch unschädlich gemacht, dass eine Schnellverstellung der Luftschraube bei eingezogenem Fahrwerk unmöglich ist. Man könnte daran denken, im Landeanflug ein Umschalten in zu großen Höhen über dem Boden durch entsprechende Sicherungen und Automatik unwirksam zu machen. Wir halten aber derartige Vorsichtsmaßnahmen für übertrieben, da ja beim Flugzeug auch andere Fehlermöglichkeiten (Überziehen, zu starkes Drücken, zu hohes Abfangen usw.) nicht automatisch verhindert werden. Hier erscheint der Weg über eine geeignete Unterweisung, Ausbildung und Schulung des fliegenden Personals der richtige zu sein.

Die bisherigen Vorversuche berechtigen zu der Hoffnung, dass die von uns schon früher vorgeschlagene völlige Automatisierung der Luftschraubenlandebremse sehr gut möglich ist und zu durchaus brauchbaren Ergebnissen führt. Versuche dieser Art sind zur Zeit in Vorbereitung.

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit ist über die Ergebnisse der Erprobung und Vermessung der Luftschraubenlandebremse auf einer Fw 190 berichtet. Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Anwendung der Luftschraube als Bremse die Erwartungen, die man auf Grund von Windkanalmessungen und Überlegungen auf sie setzte, vollauf erfüllt hat. Die Handhabung ist für den Flugzeugführer nicht schwieriger als bei einer normalen Landung. Eine Verschlechterung der Flugeigenschaften, insbesondere der Stabilität um die Hochachse beim Rollen, trat bei der Fw 190 V 15 nicht auf; es konnte ohne weiteres mit freiem Sporn gelandet werden. Das erzielte Ergebnis ist in Bild 29 zusammengefasst. Die errechneten Verkürzungen der Rollstrecke konnten praktisch erreicht werden. Brachte die Verwendung der Radbremsen gegenüber der Rollstrecke ohne Bremsen (900 m) eine Verringerung auf gut die Hälfte (520 m), so benötigt man bei Luftschraubenbremsung ohne Radbremsen nur noch knapp ein Drittel (280 m). Die Hauptschwierigkeit, die

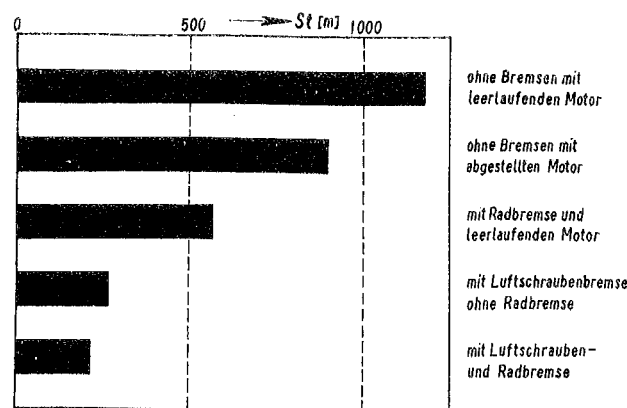


Bild 29. Rollstrecken der Fw 190 V 15.

der allgemeinen Einführung der Luftschraubenbremse für die Landung noch im Wege stand, war das Fehlen von Schnellverstellnaben. Gefordert wird aus verschiedenen Gründen eine Verstellgeschwindigkeit von mindestens $30^{\circ}/s$. Es ist jedoch zu hoffen, dass Verstellnaben dieser Leistung demnächst zur Verfügung stehen.

Schrifttum

Im folgenden werden die Arbeiten zitiert, die aus der Flugstelle der A.V.A. zum Problem Luftschraubenbremse erschienen sind. Ein ausführliches Verzeichnis fremder Arbeiten befindet sich in [1] und [6].

- [1] J. Stüper: Die Luftschraube als Bremse. Jahrbuch 1940 der deutschen Luftfahrtforschung, S. 725.
- [2] J. Stüper: Beitrag zur Anwendung der Luftschraube als Sturzflugbremse. Diskussionsbeitrag zu dem Vortrag von A. Quick: Aerodynamische und flugmechanische Fragen der Luftschraubenentwicklung. Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung, Heft 1063/43 g (1943).
- [3] J. Stüper: Das taktische Bremsen mit der Luftschraube (Vorbericht) ZWB U.u.M. Nr. 3001 (1943).
- [4] J. Stüper: Flugmessungen von Verstellmomenten einer Luftschraube beim Übergang in den Bremsbereich. ZWB U.u.M. Nr. 3090 (1944).
- [5] J. Stüper: Festigkeitsbeanspruchungen bei taktischem Bremsen mit der Luftschraube. ZWB U.u.M. Nr. 3093 (1944).

- [6] J. Stüper: Das Bremsen von Flugzeugen durch die Luftschraube. Schriften der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung, Heft 1078/44g (1944).